

气力滚筒式蔬菜播种机控制系统的软件设计

冯曦雨, 李志伟, 王广源, 郑丁科

(华南农业大学 工程学院, 广东 广州 510642)

摘要:根据气力滚筒式蔬菜播种机播种精度要求以及穴盘进给速度与排种器播种速度的匹配要求,提出了以单片机 ATmega16 为控制系统的核心硬件,采用逐盘定位检测的控制策略和模块化设计的方案,研究开发了一种基于单片机 C 语言的气力滚筒式蔬菜播种机专用控制系统.该系统解决了播种机在连续工作时因排种滚筒线速度与穴盘输送速度的差异所产生的累积误差对播种效果的影响,使播种机能够迅速达到正常工作运行状态,防止从高速运行状态快速制动停止时产生过冲的现象,保证了播种精度不变的条件下排种器能够高速稳定的运行.试验结果表明,不同生产率下排种滚筒和穴盘输送装置的运行转速测量值与理论值的误差最大为 2.01%.排种滚筒线速度和穴盘输送速度的差值最大为 0.1 m/min,远远小于 14.4 m/min 的理论许可值,满足播种机的工作要求.

关键词:蔬菜; 气力滚筒式播种机; 控制系统; 单片机; 软件
中图分类号:S223.25 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-411X(2013)01-0106-05

Software Design of the Control System for Pneumatic Roller-Type Vegetable Seeder

FENG Xiyu, LI Zhiwei, WANG Guangyuan, ZHENG Dingke

(College of Engineering, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

Abstract: According to the requirements for seeding accuracy of pneumatic roller-type vegetable seeder and feed-rate of seedling tray matching up to rev of seeding device, a controlling system based on C language for the seeder developed by using ATmega16 MCU as core hardware, every cell pan position detection control strategy and modular design of the program approach. The system could solve the impact of the cumulative error on seeding caused by seeding roller line speed and cell pan convey speed difference in continuous work, and it could make the seeder operate in working conditions rapidly and prevent overshooting phenomenon when hard braking was used in high speed working conditions, which insured that seeding device could operate stably in high-speed under the same seeding accuracy conditions. The result indicated that the error between measurement value and theoretical value was up to 2.01% in the operation speed of seeding roller and cell pan convey device under different productivities. The difference between seeding roller line speed and cell pan convey speed was up to 0.1 m/min; it was far less than the theory of permit value 14.4 m/min, which could meet the work requirements of the seeder.

Key words: vegetable; pneumatic roller-type seeder; control system; SCM; software

气力滚筒式蔬菜播种机控制系统的性能直接影响播种的效果.国内外同类播种机采用的控制器核心系统主要有计算机控制系统、PLC、专用控制器和单片机^[1-5].相比由传统控制器构成的控制系统,基

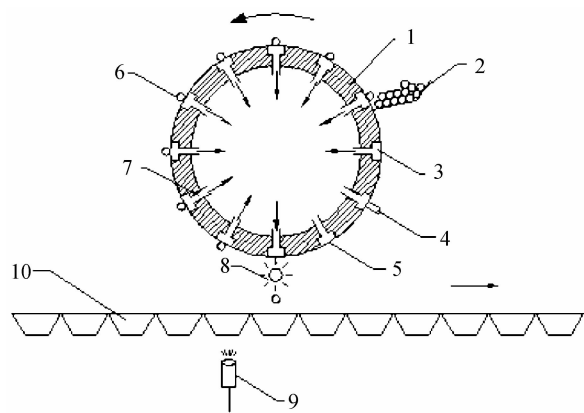
于单片机的控制系统具有集成度高、智能化程度高、可靠性强、低功耗、成本低、编程灵活、软件易于升级等优点.本文以华南农业大学工程学院自行开发的气力滚筒式蔬菜播种机为基础,采用 C 语言开发了

基于单片机 ATmega16 的控制系统软件. 实现排种器的精确定位及穴盘进给速度与排种器播种速度的准确匹配, 为提高播种机的播种精度和播种生产率提供必备条件, 同时提高了播种机操作的便捷性.

1 播种机控制系统的要求

1.1 播种机的控制要求

排种的工作过程如图 1 所示^[6]. 为了达到排种的理想状态, 排种器在设计时使滚筒上各吸种孔中心位置与穴孔的中心相对应. 当排种器的线速度与穴盘的输送速度一致时才能使种子落入穴孔的中心. 排种器和穴盘传送装置在播种时由于受到诸如摩擦等外界因素影响时, 速度也会受到一定的影响, 使得种子不能准确落在穴孔的中心. 由于每个穴孔口是一个 36 mm × 36 mm 的正方形, 种子也能落在穴孔中的其他位置, 对播种效果没有影响. 但是当排种器的线速度和穴盘输送速度相差大于一定值时, 种子就不会落入与之相对应的穴孔中了, 这样就会对播种效果产生一定的影响. 因此必须要保证排种器的线速度和穴盘输送速度的差值在一个保证种子能落在对应穴盘中的范围内.



1: 滚筒体; 2: 供种箱; 3: 气腔; 4: 排种点; 5: 吸种孔; 6: 种子; 7: 气管; 8: 光电传感器 1; 9: 光电传感器 2; 10: 穴盘.

图 1 排种过程控制位置的工作原理示意图

Fig. 1 Position control in the seeding process

从种子离开滚筒到落入穴盘的过程中, 种子只在惯性和重力的作用下做抛物线运动. 将种子的抛物线运动进行分解, 种子在水平方向上做初速度不为零的直线运动, 在垂直方向上做加速度为 g 的加速运动. 种子从离开滚筒到落入穴盘所需的时间 $(t) = \sqrt{H/g}$, 式中, H 为种子下落点距离穴盘的垂直距离, mm; g 为重力加速度, m/s^2 .

种子在离开滚筒前被吸附在滚筒表面上随滚筒一起运动, 与排种滚筒的直径相比种子的直径可以忽略不计, 所以种子离开滚筒时水平方向上的初速度等于排种滚筒的线速度. 在这段时间内种子在水平方向

上的位移 $(X_g) = v_g t = v_g \sqrt{H/g}$, 式中, v_g 为排种滚筒的线速度, m/min .

在种子离开滚筒到落入穴盘这段时间内穴盘移动的水平位移 $(X_p) = v_p t = v_p \sqrt{H/g}$, 式中, v_p 为穴盘的输送速度, m/min .

根据上述公式和穴盘的结构可以分析出当排种器的线速度和穴盘输送速度有差异时, 为了保证种子能够落入目标穴孔内, 种子的水平位移与穴盘移动的距离相差不能超过穴孔口长度的一半. 根据速度与位移的关系:

$$|v_g - v_p| < \frac{a}{2} \cdot \frac{1}{\sqrt{H/g}},$$

式中, a 为穴孔口的长度, mm, 以及播种机和穴盘的结构参数可以得到不影响播种效果的排种滚筒线速度与穴盘输送速度的差值不能超过 14.4 m/min .

1.2 穴盘的位置检测及滚筒转动的控制

由于各个部件之间的摩擦使得排种滚筒线速度与穴盘输送速度出现差异导致播种机在长期工作时会产生累积误差, 对播种效果产生不良的影响. 因此, 为满足播种控制要求, 本文将采用逐盘定位检测的控制策略设计控制系统, 以减少或消除这种累计误差的影响.

采用 2 个光电传感器分别在播种前对排种原点进行定位和播种时对穴盘进行逐盘检测. 如图 1 所示, 光电传感器 1 为排种原点定位检测元件. 排种原点为排种孔转至正下方时排种滚筒与水平方向相切的一点. 通过对排种器上的排种原点的检测来实现对排种器的原点定位. 光电传感器 2 为穴盘输送检测元件, 它利用穴盘的侧边沿来检测穴盘是否到达指定位置从而控制排种器的启动或停止. 由于吸有种子的种孔转到正下方的播种位置时移动的位移恰好等于穴孔的中心距, 所以传感器 2 安装在与穴盘前进的相反方向上距离排种器正下方垂直于穴盘的 1 行排种孔 1 个穴孔中心距的长度的位置上, 垂直于穴盘前进方向正对穴盘. 当光电传感器 2 检测到穴盘的侧边沿时, 向单片机发送一个低电平的脉冲信号, 触发软件中断, 使能步进电机转动从而带动排种滚筒工作, 此时吸种腔把种子吸附在滚筒表面的吸种孔上; 当种子随滚筒转到排种器正下方位置时, 吸种腔转换为落种腔, 种子在自重及正气压作用下被吹落下去. 此时, 由于滚筒转动的线速度与穴盘进给速度有一固定的关系, 穴盘由传送带传送到落种区, 且滚筒表面上的第 1 行种子正好落入第 1 排穴孔中.

2 系统软件的设计

2.1 主程序

主程序流程图如图 2 所示, 在主程序中主要完成

各种寄存器的初始化、生产率设定、排种器的原点定位功能启动、穴盘检测等功能。

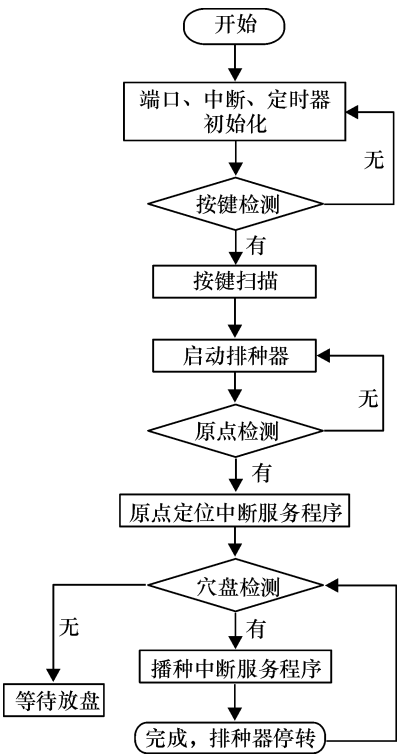


图 2 主程序流程图

Fig. 2 The flow chart of main program

2.2 初始化模块

在初始化模块中首先要对所使用到的各端口的数据方向进行初始化^[7],各端口的功能和数据方向如表 1 所示.此外,还要对软件设计中用到的定时器和外部中断进行寄存器的初始化.

表 1 端口功能和数据方向

Tab.1 Port function and data direction

L/O 口	功能	数据方向
PA0	步进电机运行方向信号	输出
PA1	步进电机运行使能信号	输出
PA2	直流电机运行方向信号	输出
PA3	直流电机运行刹车信号	输出
PA4	放盘提示信号	输出
PB1 ~ PB7	生产率按键接口	输入
PD2	采集传感器 1 信号	输入
PD3	采集传感器 2 信号	输入
PD5	步进电机运行脉冲信号	输出
PD7	直流电机 PWM 信号	输出

为了得到控制步进电机运行的方波脉冲信号,对单片机的 16 位定时器 1 编程,选择基于双斜坡计数方式的相位与频率修正 PWM 模式.使用比较寄存器 OCR1A 用来定义 TOP 值.由于设置了 WGM 13:0=9

且 COM1A1:0=1,则比较匹配时 OC1A 取反,OC1B 不占用物理引脚,OC1A 输出占空比 50%,频率为设定输出 PWM 频率的 1/2 的方波信号.将不同频率对应的 TOP 值存放在比较寄存器 OCR1A 中.

控制直流电机转速的 PWM 信号由单片机的 8 位定时器 2 编程产生.由于系统调速需要不断改变 PWM 信号的占空比,因此选择可以产生高精度 PWM 波形的相位可调 PWM 模式.在控制寄存器 TCCR2 中定义定时器 2 的波形发生模式为相位修正输出模式.通过设置 OCR2 中的值来改变占空比,从而进行调速.

播种机工作中排种器原点定位和播种等动作均在中断服务程序中完成.根据需要系统使用了 2 个外部中断即 INT0 和 INT1. INT0 由排种原点触发,INT1 由穴盘触发,从而进入相应的中断服务程序.中断寄存器初始化主要是对中断进行使能和中断触发方式的设置.程序在开始时并不需要立即完成中断服务程序中的功能,所以在生产率设置按键被按下后才使能 INT0,在完成排种原点的定位后使能 INT1,关闭 INT0.为了得到在播种 1 盘时排种器启动和停止的 2 个信号,INT1 的触发方式选择了电平变化触发. INT0 只需检测排种原点,不具有连续性,故选择低电平触发.

2.3 人机接口模块

人机接口模块流程如图 3 所示.播种机的人机交互通过 7 个独立按键完成,对生产效率进行设置.播种机的启动需要对按键进行检测和扫描,判断有无按键按下并扫描出是哪个按键被按下.

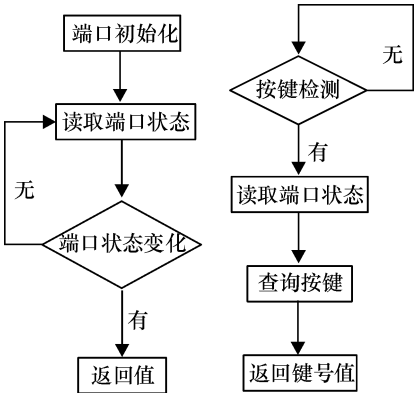


图 3 人机接口模块流程图

Fig. 3 Man-machine interface module flow chart

按键检测时首先要对按键接口进行端口初始化,先要对端口的数据方向设置为输出,并输出高电平,再将端口数据方向设为输入用以读取端口状态.将按键的端口状态赋给一预先定义的变量,使用 if-else 语句判断端口状态,若有端口状态由高电平变为低电平则表示有按键被按下,返回一个值到主程序中以便进行按键的扫描.

当有按键被按下后才执行按键扫描程序确定是哪一个键被按下. 将读到的按键的端口状态赋给变量 key, 使用 switch-case 分支选择语句根据 key 值查询被按下的按键, 将查询到的按键对应的键号值返回到主程序中.

2.4 中断服务程序模块

根据中断服务程序实现的主要任务又分为原点定位中断服务子程序和播种中断服务子程序.

2.4.1 原点定位中断服务子程序 传感器 1 检测排种原点位置从而触发 INTO, 执行原点定位中断服务子程序. 在执行生产率设置子程序后, 主程序根据按键扫描子程序返回的键号值使能步进电机以设定速度值运行, 同时开启 INTO 的使能. 在电机运行中当排种原点被检测到时便立即触发 INTO, 系统响应中断执行中断服务程序. 在原点定位中断服务子程序中关闭步进电机使能, 启动穴盘输送装置以最开始设置的速度运行, 并发出放盘提示信号. 同时关闭 INTO 使能, 开启 INT1 使能.

2.4.2 播种中断服务子程序 播种中断服务子程序流程如图 4 所示. 播种中断服务程序分为 2 部分: 一部分是启动排种器播种; 另一部分是完成播种制动排种器. 这 2 部分通过 switch-case 分支选择语句利用一个状态标志位 motor_state 来进行选择, 每进入一次中断就根据当前 motor_state 的值执行其中一部分.

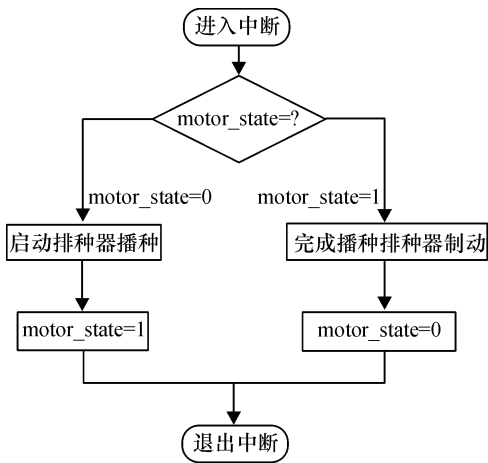


图 4 播种中断服务子程序流程图

Fig. 4 Seeding interrupt service subprogram

播种中断服务子程序通过传感器 2 检测穴盘来触发. 当传感器 2 检测到有穴盘进入播种区域时输出由高电平跳变为低电平, 产生一个跳变沿触发 INT1, 系统响应中断后开始执行中断服务程序. 根据状态标志位的值, 这时仅执行启动排种器播种的程序并改变状态标志位, 便跳出中断服务程序. 在穴盘没有完全经过播种区域时, 传感器 2 的输出一直保持为低电平. 当穴

盘离开播种区域后, 传感器 2 的输出由低电平跳变为高电平, 产生的跳变沿再次触发 INT1, 由于上一次执行中断服务程序时已将状态标志位改变, 因此仅执行中断服务程序中完成播种制动排种器的程序并改变状态标志位的值得下一次进入播种中断服务程序后执行启动排种器播种的程序.

2.5 步进电机加减速控制模块

为了避免驱动排种器的步进电机以超过最大自启动频率的脉冲速度来驱动时产生失步或堵转现象和电机从高速迅速制动停止时产生过冲现象^[8-9], 步进电机必须要以加减速模式运行, 因此在播种机运行时要达到较高的生产率时, 步进电机必须以低速启动通过逐渐增大脉冲频率从而达到相应的速度^[7]. 在完成播种后也必须逐渐减小脉冲频率直到停止.

软件设计中采用 do-while 语句连续改变定时器 1 的 TOP 值来逐渐增大或减小输出的脉冲信号频率^[10]. 在每改变一次 TOP 值后都使步进电机在该速度上做短暂的停留以避免频率变化过快引起电机失步, 因此加入延时函数. 延时的时间以在不产生失步的前提下达到最高的加速度和平稳而较低的运行噪音为标准, 通过试验确定为 5 ms 左右.

步进电机启动时以略小于最大自启动频率启动. 设置生产率后将产生一个返回值, 根据返回值进行查表确定要加速到的目标频率的 TOP 值. 加速控制程序带有一个形参, 把目标频率的 TOP 值赋给形参, 用来判断是否加速到目标频率. 减速控制程序则直接将当前的运行频率逐渐减小到初始值再关闭使能, 制动步进电机. 步进电机加减速控制程序流程如图 5 所示.

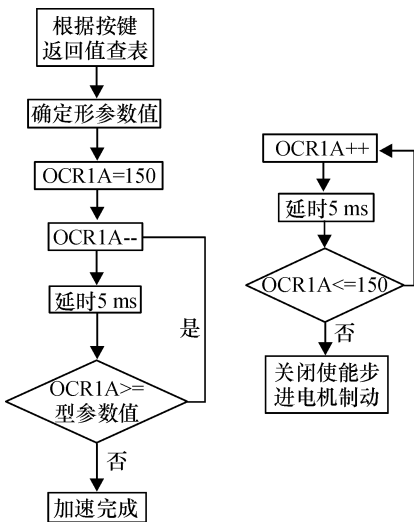


图 5 步进电机加减速控制程序流程图

Fig. 5 Acceleration and deceleration control program of step motor flow chart

3 控制系统测试试验

控制系统对播种效果的影响主要在于能否准确控制排种滚筒和穴盘输送装置的速度. 因此, 通过对排种滚筒与穴盘输送装置的转速进行测量从而检验控制系统是否满足播种机的控制要求.

3.1 试验设备与材料

气力滚筒式蔬菜播种机; 控制系统电路板; VC890D 万用表, 用于电路板出现故障时进行检测; DT2236B 转速测试仪, 用于测量速度.

3.2 试验方法

使用转速仪测量在播种生产率设置为 300 ~ 900 盘/h 范围内的 7 档不同生产率时排种滚筒和穴盘输送装置的转速, 每档生产率下测量 3 次.

3.3 试验结果

测量结果如表 2 所示, 实际测量值与理论值之间存在的误差最大为 2.01%. 为了进一步检验这种差异是由于设计所引起的还是正态随机误差, 利用统计软件对测量值进行单个样本 T 检验, 显著水平取 5%. T 检验结果的显著值如表 2 所示. 全部显著值大于 5% 的显著水平, 在 95% 的置信区间内, 全部显著值都显著, 这表明表示测量值与理论值之间的差异只是正态随机误差.

由于播种机的控制系统要求对排种器线速度与穴盘输送速度的差值有要求, 所以将测量得到的转速值转换为用线速度表示(表 2). 排种滚筒线速度与穴盘输送装置线速度的差值远远小于 14.4 m/min 的理论许可值.

表 2 转速测量值与 T 检验结果的显著值
Tab.2 Speed measurements and significant value of T -test

生产率/ (盘 · h ⁻¹)	排种滚筒转速/ (r · min ⁻¹)		穴盘输送装置转速/ (r · min ⁻¹)		T 检验显著值		线速度/(m · min ⁻¹)		
	理论值	测量值	理论值	测量值	排种滚筒	穴盘输送装置	排种滚筒	穴盘输送装置	两者差值
300	5.0	4.9	14.9	14.6	0.225	0.319	2.4	2.4	0.0
400	6.7	6.7	19.9	19.7	1.000	0.192	3.3	3.3	0.0
500	8.3	8.4	24.8	24.8	0.184	0.885	4.2	4.1	0.1
600	10.0	9.9	29.8	29.9	0.423	0.057	4.9	5.0	0.1
700	11.7	11.6	34.8	34.8	0.478	0.840	5.8	5.8	0.0
800	13.3	13.2	39.7	39.7	0.580	0.868	6.5	6.6	0.1
900	15.0	14.9	44.7	44.8	0.529	0.816	7.4	7.5	0.1

4 结论

本文采用逐盘定位检测的控制策略和基于单片机 C 语言所设计的控制系统软件, 能够使系统迅速达到正常工作状态以及防止从高速运行状态快速制动停止时产生过冲的现象, 保证了播种精度不变的条件下排种器能够高速稳定地运行. 实现了穴盘进给速度与排种器播种速度的精确匹配, 解决了播种机构在连续工作时因排种滚筒线速度与穴盘输送速度的差异所产生的累积误差对播种效果的影响. 试验结果表明, 测量不同生产率下排种滚筒和穴盘输送装置的运行转速, 测量值与理论值的误差最大为 2.01%. 排种滚筒线速度和穴盘输送速度的差值最大为 0.1 m/min, 远远小于 14.4 m/min 的理论许可值, 能够满足不同生产率下排种滚筒和穴盘输送装置的速度控制要求, 可以实现播种机的正常工作.

参考文献:

[1] 何培祥, 杨明金, 陈忠慧. 光电控制穴盘精密播种装置

的研究[J]. 农业机械学报, 2003, 34(1):47-49.
[2] 王丽君. 针吸式穴盘自动播种机的设计与研究[D]. 郑州: 河南农业大学, 2003.
[3] 林叙彬. 气力滚筒式蔬菜播种机的改进设计与实验[D]. 广州: 华南农业大学, 2009.
[4] 柳召芹. 磁吸滚筒式穴盘精密播种器自动控制系统研究与设计[D]. 镇江: 江苏大学, 2008.
[5] INOTI K. Electronically-controlled pneumatic precision planter electronic seed sensing and evaluation of metering uniformity[J]. JSAM, 1990, 52:35-43.
[6] 冯曦雨, 郑丁科, 李志伟, 等. 气力滚筒式蔬菜播种机控制系统的设计[J]. 农机化研究, 2011, 33(12):86-89.
[7] 海涛. ATmega 系列单片机原理及应用: C 语言教程[M]. 北京: 机械工业出版社, 2008.
[8] 王晓明. 电动机的单片机控制[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2002:125-142.
[9] 李发海, 王岩. 电机与拖动基础[M]. 3 版. 北京: 清华大学出版社, 2005:56-62.
[10] 吴双力, 崔剑, 王伯岭. AVR-GCC 与 AVR 单片机 C 语言开发[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2004.

【责任编辑 周志红】